

УДОСКОНАЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПРАЦЮЮЧИХ ВІД МЕХАНІЧНИХ УДАРІВ

Н. А. Іваницька, асп. (Київський національний університет технологій та дизайну)

Рассмотрены проблемы проектирования средств индивидуальной защиты работающих от ударов. Предложено новое техническое решение демпфирующей прокладки, которое позволяет повысить защитные свойства специальной одежды и снизить травматизм работающих.

Розглянуто проблеми проектування засобів індивідуального захисту працюючих від ударів. Запропоновано нове технічне рішення демпфувальної прокладки, яке дозволяє підвищити захисні властивості спеціального одягу і знизити травматизм працюючих.

The problems of designing personal protective equipment of workers to protect against shock are considered. The new technical solution for pad that allows promoting protective properties of the special clothes and lowering the traumatism of workers is suggested.

Спецодяг повинен створювати сприятливі умови праці для людини в оточуючому виробничому середовищі, ефективно захищати робітника, бути зручним під час експлуатації. Відповідність спецодягу умовам виробництва забезпечується насамперед конструкцією та властивостями матеріалів, з яких він виготовляється.

Виробнича діяльність працюючих на зведенні житлових і спеціальних споруд, на висотно-монтажних роботах, на сталеливарному виробництві, в рибальському промислі, в спорті пов'язана з дією на людину механічно-ударних навантажень. Особливу увагу слід приділити тим категоріям людей (військовослужбовці Збройних сил України, співробітники Міністерства внутрішніх справ і спецпідрозділів), які в процесі своєї професійної діяльності повинні захищатися від кульової ударної дії.

Як відомо, будь-який механічний удар можна розглядати як пружний і непружний удар. У більшості випадків механічної дії предметів на тіло людини відбувається непружний удар [1].

У медицині пошкодженням називається порушення структури і функції організму в результаті дії одного або декількох зовнішніх ушкоджувальних чинників [2]. Травматизм – це сукупність пошкоджень, що виникають за схожих умов праці і побуту у певних груп населення.

Ушкоджувальний чинник – матеріальне тіло (предмет), речовина або явище, здатна заподіювати пошкодження. Цю здатність називають травмуючою властивістю. Ушкоджувальні чинники можуть бути двох видів: ушкоджувальні предмети (матеріальні тіла, здатні здійснити тупу і гостру дію, вогнепальні снаряди та ін.) і ушкоджувальні явища (електрика, висока і низька температура, променева енергія та ін.).

Одні ушкоджувальні чинники спричиняють переважно місцеву ушкоджувальну дію (механічні фактори), інші – переважно загальну дію

(барометричні чинники), більшість же здатна викликати як загальну, так і місцеву ушкоджувальну дію (термічні, радіаційні, електричні, хімічні чинники).

Якщо ушкоджувальні чинники відрізняються великою різноманітністю, то перелік властивих їм травмуючих властивостей невеликий. Їх можна звести в три основні групи: фізичні, хімічні, біологічні. Фізичні чинники у свою чергу діляться на механічні (тупі, гострі, вогнепальні), термічні, електричні, барометричні і радіаційні; біологічні – на мікробні, антигенні та ін.

До механічних відносяться пошкодження, що виникають від дії механічних ушкоджувальних чинників. В цю групу включають пошкодження, заподіяні тупими і гострими предметами, пошкодження від падіння з висоти і на площини, деякі види вогнепальних і вибухових травм, різні варіанти механічної асфіксії.

Ушкоджувальні чинники пострілу і вибуху спричиняють комбіновану уражаючу дію (механічну, термічну, хімічну). Проте переважаюча механічна дія дає підстави включити вогнепальну і вибухову травми в розділ механічних пошкоджень [2].

Більшість механічних пошкоджень відрізняється вираженими змінами анатомічної структури тканин і органів. Це – подряпини, синці, рани, переломи, вивихи, крововиливи під оболонки і в тканину внутрішніх органів, розриви, розтрощення цих органів, часткове і повне розділення частин тіла, часткове і повне руйнування тіла.

Для компенсації дії на людину непружного удару застосовують демпфірувальні прокладки. Захисні елементи (керамічні, сталеві, алюмінієві пластини) засобів індивідуального бронезахисту розміщуються на рівні життєво важливих органів (ЖВО). Деякі дослідники відносять до ЖВО нервову систему, серце і крупні судини, на які в цілому припадає не більше 15 % від загальної площі тіла, інші схильні до більш широкого трактування ЖВО. Встановлено, що середня площа ЖВО складає 27 % від загальної площі тіла людини (вигляд спереду – 26 %, вигляд ззаду – 25 %, вигляд збоку – 30 %) [1]. Це означає, що досить велика ділянка тіла людини вкрита захисними пластинами, в яких як демпфірувальні прокладки використовують спінені полімерні матеріали, такі як пінополіуретан.

Основними недоліками таких прокладок є їх жорсткість, велика маса, монолітність, низька гігроскопічність. Це ускладнює рухи людини і створює додаткові навантаження, а відсутність руху повітря під прокладками погіршує процес вільної вентиляції простору під одягом.

Метою роботи є створення ефективної демпфірувальної прокладки, яка здатна забезпечити максимально комфортні умови в піддодежному просторі спецодягу. В статті розглянуто питання захисту людини від найбільш травматичного механічного впливу – кульового удару, після якого виникають значні пошкодження поверхні тіла людини та її внутрішніх органів.

Як оптимальний варіант було запропоновано використовувати як демпфірувальну прокладку теплоізолювальне полотно, що складається з еластичних шайб-вкладишів, розташованих в шаховому порядку на матеріалі (основі).

Очевидно, що демпфірувальні властивості прокладки залежатимуть від геометричних розмірів, модуля пружності та кількості вкладишів. Для розрахунку цих параметрів розглянемо взаємодію кулі з бронежилетом пластинчастого типу, демпфірувальною прокладкою та тілом людини.

Ударне навантаження на тіло людини, яке виникає при ударі кулі у бронезилет пластинчастого типу, є таким за величиною, що викликає пошкодження поверхневих тканин, а в деяких випадках і внутрішніх органів людини. Попередити пошкодження може демпфувальна прокладка, яка має задані параметри. Для створення таких прокладок необхідний глибокий теоретичний аналіз процесів, які відбуваються в системі людина–демпфувальна прокладка–бронезилет–куля.

При цьому в обох випадках: куля–бронезилет та куля–бронезилет–людина розглядаються два непружних удари. Обираємо більш складну модель взаємодії, коли тіло людини від ударного навантаження залишається нерухомим.

Чим більший час дії середньої сили, тим менша сама сила, тому ефект демпфування буде тим більший, чим більший час деформації демпфувальної прокладки. Час деформації демпфувальної прокладки залежить (при постійній масі захисної пластини бронезилета) від товщини демпфувальної прокладки, модуля пружності, поперечного перерізу вкладиша та кількості вкладишів. Схему взаємодії куля–бронезилет–тіло людини представлено на рис. 1.

Куля з масою m та швидкістю V передає імпульс пластині, яка починає рухатись зі швидкістю U , тоді імпульс розраховуємо так [3]:

$$U = (mV) / M, \quad (1)$$

де M – маса пластини бронезилета, кг (причому $m \ll M$).

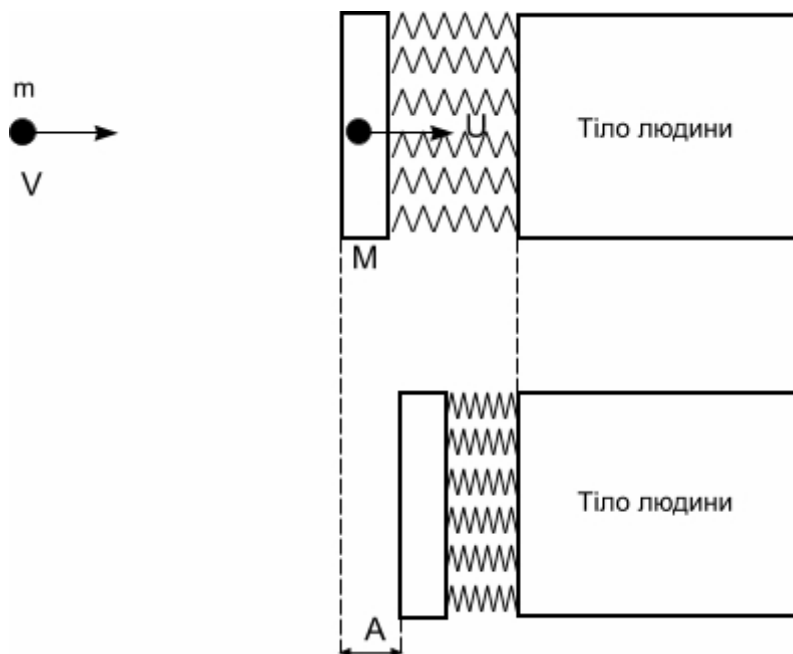


Рис. 1. Схема взаємодії куля–бронезилет–тіло людини

Від ударного навантаження пластина з масою M бронезилета стисне демпфувальну прокладку, яка в нашому випадку представлена рядом пружин, на величину амплітуди коливань A .

Виходячи з закону збереження енергії, напишемо рівняння переходу кінетичної енергії в потенціальну при зупинці пластини [4]:

$$(MU^2)/2 = (kA^2)/2 . \quad (2)$$

Перетворюючи формулу (2) та підставляючи замість $k = \omega^2 M$, отримуємо вираз для амплітуди коливань:

$$MU^2 = kA^2 = \omega^2 MA^2 ; \quad (3)$$

$$A^2 = U^2 / \omega^2 ; \quad (4)$$

$$A = U / \omega . \quad (5)$$

Підставивши вираз (1) у (2), отримаємо

$$A = (mV) / (M\omega) . \quad (6)$$

Для визначення механічної взаємодії пластини бронежилета та людини необхідно знати середнє значення сили, оскільки рух пластини визначається пружними пластичними властивостями демпфірувальної прокладки. При слабких затуханнях середнє значення сили, що діє на людину, визначається за рівнянням:

$$\langle F \rangle = \frac{\int_0^t F(\tau) d\tau}{t} ; \quad (7)$$

$$\langle F \rangle = \frac{\int_0^t F(\tau) d\tau}{t} = \frac{\int_0^{T/4} F_0 \sin \omega \tau d\tau}{T/4} ; \quad (8)$$

$$F(\tau) = F_0 \sin \omega \tau , \quad (9)$$

де F_0 – максимальне значення сили F :

$$\langle F \rangle = -\frac{F_0 4 \cos \omega t}{\omega T} \Big|_0^{T/4} = \frac{F_0 \cdot 4}{2\pi} \left(\cos 0^0 - \cos \frac{\omega T}{4} \right) = \frac{2F_0}{\pi} (1 - \cos \frac{\pi}{2}) = \frac{2F_0}{\pi} , \quad (10)$$

враховуючи, що $\omega T = 2\pi$ [9].

Із закону Гука маємо:

$$F(t) = -kx = -kA \sin \omega t = -\omega^2 MA \sin \omega t = -F_0 \sin \omega t , \quad (11)$$

де $\omega^2 = k/M$, звідси $k = \omega^2 M$.

$$\text{Отже, } F_0 = \omega^2 MA . \quad (12)$$

Підставивши вираз (12) в (10), маємо [4]:

$$\langle F \rangle = (2\omega^2 MA)/\pi. \quad (13)$$

Розв'язавши рівняння (7) і зробивши певні підстановки, знаходимо математичний вираз для визначення сили, яка діє на людину при кульовому ударі в бронежилет з захисною пластиною через демпфірувальну прокладку.

$$\langle F \rangle = \frac{2\omega^2 MmV}{\pi M\omega} = \frac{2\omega mV}{\pi} = \frac{2mV\sqrt{\frac{k}{M}}}{\pi} = \frac{2mV}{\pi} \sqrt{\frac{ES_0 n}{Ml}}. \quad (14)$$

Ця формула показує залежність сили від кулі з масою m та швидкістю V , пластини бронежилета масою M , модуля пружності вкладишів E та їх загальної контактної площі $S_0 n$ і висоти демпфірувальних вкладишів l .

Отримана залежність може бути використана для проектування прокладок такої конструкції з заданими параметрами. Запропонована демпфірувальна прокладка може бути використана як захисна прокладка для колін, ліктів та інших частин тулубу, оскільки вона є гнучкішою, легшою, з поліпшеними гігієнічними показниками.

Вагу демпфірувальної прокладки в бронежилетах 2–3 класу захисту можна зменшити вдвічі за рахунок використання запропонованого теплоізолювального полотна.

1. Сильников М. В., Химичев В. А. Средства индивидуальной бронезащиты: Учеб. пособие. – С.-Пб.: Фонд «Университет», 2000. – 480 с.
2. Акопов А. И. Судебная медицина в вопросах и ответах: Практ. пособие для юристов и врачей. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 448 с.
3. Пейн Г. Физика колебаний и волн. – М.: Миниздат, 1979. – 389 с.
4. Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1982. – Т. 1. – 432 с.